基于前沿监测技术探讨“大开发”对鸟类迁徙及其栖息地的影响

曹 垒[1,2*] 孟凡娟[1] 赵青山[1]

1 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085
2 中国科学院大学 北京 100049

摘要 迁徙鸟类与地球上不同生态系统、当地生物多样性和人类文化的时空关联，诠释了“地球生命共同体”的理念。《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》用鸟类数量来确定国际重要湿地，将地球上受威胁最严重的湿地生态系统和水鸟这两者的保护紧密联系在一起。亚洲的湿地丧失和退化导致水鸟数量锐减，相关监测和保护已迫在眉睫。中国科学院联合10个国家的鸟类和生态环境相关研究机构，建立了亚洲最大且拥有自主知识产权的迁徙鸟类运动生态数据库，获得了亚洲大型鸟类迁徙策略和通道的基础数据。研究发现，亚洲20多个国家的大型迁徙水鸟均利用我国的湿地，其集中利用区域不超过国土面积的1.5%，主要分布在6条大河流域的湿地。进而，探讨了湿地面积、涨落区和水文过程与鸟类数量和行为的关联性。“大开发”，尤其是对湿地和水资源的开发，导致了水鸟栖息地丧失和退化、水鸟数量锐减。从全球视角分析，保护迁徙鸟类及其栖息地是人类面临的共同挑战。近年来，我国已对典型湿地开启了成功保护，这也为全球生物多样性保护提供了宝贵的实践经验和信心。最后，文章还提出了关于我国牵头组织全球迁徙鸟类及其栖息地监测和保护的建议。

关键词 水鸟，迁徙，湿地，保护，卫星追踪，流域综合管理

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20210309002

1 监测和保护迁徙鸟类是推动共建“地球生命共同体”的重要举措

鸟类是宝贵的自然资源，保护鸟类资源可以造福生活在其活动范围内的人类和生态系统。迁徙鸟类是地球上最具流动性的生物类群之一，借助物质流、能量流和信息流，鸟类极大地影响了迁徙途中相关联的当地生物群落和生态系统[1]。基于一年当中利用不

*通信作者
资助项目：中国科学院科研装备研制项目，中国科学院生物多样性监测与研究网络-鸟类多样性监测专项网，中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室科研仪器设备采购项目，国家自然科学基金国际（地区）合作与交流项目（31661143027）
修改稿收到日期：2021年3月30日

同区域栖息地的需求，鸟类在距离遥远的不同生态系统间进行迁徙，同时也为人类提供了生态系统服务功能。自古以来，人类就对鸟类具有强烈的喜爱和好奇心，这种情感跨越了国家、地区和种族；鸟类的迁徙既连接了人类的不同文明，也成为鸟类研究人员和志愿者情感交流的纽带（图 1）。因此，迁徙鸟类与地球上不同生态系统、当地生物多样性和人类文化的时空关联，诠释了"地球生命共同体"的理念。同时，迁徙鸟类的生存状态也在一定程度上反映了人类的"全球道德责任水平"，并成为衡量世界生态文明程度的重要标准。

鸟类拥有强大的飞行能力，可以快速、主动选择高质量且低风险的生活环境，因此鸟类被视为对栖息地质量和变化非常敏感的指示生物。依据《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》（以下简称《湿地公约》）规定，当湿地承载的水鸟数量高于某一阈值时，就被列为国际重要湿地。这一规定将水鸟和湿地这两者的保护紧密联系在一起，并倡导了保护鸟类栖息地就是保护鸟类的思想。

人类活动引起的土地利用变化和全球气候变化等因素，导致了全球迁徙鸟类的数量呈下降趋势[2]，其中水鸟数量下降更为严重。水鸟，被《湿地公约》定义为"在生态学上依赖湿地的物种"。湿地是世界上最重要的生态系统之一，在气候变化、生物多样性、水文和人类健康方面发挥着重要作用[3]。例如，虽然淡水湿地只覆盖了地球表面的 1.2%，却储存了几乎所有人类可利用的淡水资源（冰川和地下水除外）；同时还支持了世界上超过 40% 的物种[4]，而生物多样性的功能和服务是人类可持续发展的基础[5]。湿地也是受威胁最严重的生态系统，全球已经丧失了 50% 以上的湿地[6,7]。亚洲的湿地丧失和退化导致了水鸟数量锐减 [8]，开展水鸟和湿地的监测与保护工作已迫在眉睫。

基于国际合作开展全球鸟类监测是保护长距离迁



图 1　2019 年 10 月，东亚 - 澳大利亚迁徙路线伙伴关系鸭科鸟类工作组主办、中国科学院生态环境研究中心承办的第二届"发展 21 世纪东亚水鸟有效协调监测国际研讨会"在北京召开

Figure 1　The 2nd "International Symposium on Developing Effective Coordinated Monitoring of East Asian Waterbirds in the 21st Century" (held in October 2019, Beijing), was hosted by the Anatidae Working Group of the East Asian-Australasian Flyway Partnership and organized by Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences

徙种群的基础。北美、欧洲的研究人员经过对鸟类环志几十年的野外观察，得到了鸟类繁殖地、换羽地、停歇地和越冬地位置之间相互关联的信息[9]，并汇总了各国的数量、成鸟和幼鸟比例等监测数据，获得了鸟类的种群数量和变化趋势[8]，为精准保护下降种群提供了依据。但在亚洲，鸟类的主要繁殖区域（俄罗斯、蒙古国和中国东北地区）地广人稀，很难通过野外观察获得鸟类迁徙路线结构的数据，更无法确定下降的物种和种群。

近 10 年来，基于全球定位系统（GPS）/全球移动通信系统（GSM）的遥测技术迅速发展，通过手机基站可将卫星定位器和传感器记录的鸟类位置和行为数据传送给计算机。这些高频高精的大数据，不仅推动了亚洲鸟类监测工作，也推动了“运动生态学”（movement ecology）这一新学科的发展[10,11]。基于遥测（个体位置、行为和能量消耗）和遥感（天气和气象、栖息地等）大数据的运动生态学，为全球动物监测提供了新方法和新理论。

本文根据 20 年来亚洲迁徙水鸟监测和运动生态学研究的成果，探讨“大开发”对水鸟数量和行为的影响规律，进而提出我国牵头组织全球鸟类监测和保护工作的建议。

2 提出鸟类及其栖息地同步监测的理念，牵头组建国际合作团队，引领建立亚洲最大的迁徙鸟类运动生态数据库

基于保护鸟类栖息地就是保护鸟类这一思想，我们提出鸟类及其栖息地同步监测的理念，将亚洲鸟类运动生态遥测数据和生态系统类型及其特征相结合，开展了鸟类及其栖息地的监测、研究和保护工作。

2.1 引领建立亚洲最大的迁徙鸟类运动生态数据库

基于学科交叉的优势，中国科学院生态环境研究中心联合 10 个国家中的 20 个国际组织和研究机构，于 2013—2020 年在 14 个国家和地区（俄罗斯、蒙古国、日本、韩国、哈萨克斯坦、斯里兰卡、丹麦、德国、冰岛、英国、芬兰、美国、中国和中国香港）合作开展鸟类野外追踪工作。追踪大中型鸟类 140 种，获得数十亿条鸟类行为数据、位置数据和对应环境（温度和光强）数据。近年来，中国科学院也建立了中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）——鸟类多样性监测专项网”，基于生物遥测技术推动鸟类迁徙规律的监测与研究，阐明环境变化对鸟类运动模式、种群数量和遗传多样性的影响机制[12]。

基于上述这些工作，笔者团队主持建设了目前亚洲最大且具有自主知识产权的迁徙鸟类运动生态数据库，包括鸟类遥测实时动态数据库、鸟类野外观测静态数据库、气象数据库和生态类型数据库等，获得了亚洲大型鸟类主要的迁徙通道（图 2），合作探讨了东亚鸭科鸟类的迁徙路线、种群趋势、所利用生态系统特征，并针对下降种群提出了保护建议[13]。鸟类迁徙的能量主要来源于其体内储存的脂肪，因此物种迁徙时长主要是由停歇地补充能量所需要的时间来决定的，即栖息地质量[14]。在深入研究了鸟类多样化的迁徙策略后，依据现有的经典迁徙理论，如春季迁徙的时间最短理论、秋季迁徙的能量最小理论和鸟类追随食物高峰期迁徙的“绿色波浪理论”等，发现迁徙策略的决定因素尚难以给出统一的解释[15]，这也成为未来研究的一个重要方向。上述工作极大地推动了亚洲水鸟的监测、研究和保护。

2.2 中国是鸟类亚洲迁徙路线上最重要的停歇地和越冬地

亚洲有 20 多个国家和地区，根据大型鸟类（水鸟和猛禽等）卫星追踪的结果（图 2），秋季时，在俄罗斯北极苔原带①和针叶林、蒙古高原，以及中国

① 指西亚马尔地区（70°E）到楚科奇的恰恩三角洲（170°E）。

东北地区湿地繁殖的大型鸟类，大都经过中国到东亚（包括中国）、南亚和东南亚等地区越冬。

我国幅员辽阔，且冬季 0°C 等温线在我国秦岭—淮河一线和长江之间，地理位置得天独厚，处于亚洲鸟类迁徙路线的中心位置，南来北往的鸟类大多数要经过中国。因此，中国是鸟类亚洲迁徙路线上最重要的停歇地和越冬地，即鸟在非繁殖季节所利用的最重要区域。通常，鸟类迁徙的春季停歇期在每年的 3—5 月，而秋季停歇期在每年的 9—11 月，越冬期是每年的 12 月到翌年 2 月。由于我国的地形西高东低，大型鸟类中的大多数迁徙主要经过东部地区，这可能与东部地区泛洪平原的富饶，以及西部地区青藏高原和横断山脉等形成的地理屏障有关（图 2）。



图 2　2018 年 11 月 7 日亚欧大陆大型鸟类迁徙图

Figure 2　Migration map showing routes taken by large-bodied birds tracked throughout Eurasia as of 7 November 2018

大型迁徙鸟类主要繁殖地在北极高纬度苔原带、高寒针叶林、蒙古高原和中国东北湿地，大都经过中国到东亚（包括中国）、南亚和东南亚等地区越冬；图中橘黄色线条代表追踪鸟类年度迁徙路径；黑色鸟代表追踪个体在当日的位置

The data originate from large-bodied migratory birds breeding throughout the high arctic, the taiga forest, the steppe grasslands in Mongolia, and the wetlands in Northeast China, which migrate through China to winter throughout East Asia (including China), South Asia and Southeast Asia; Yellow lines represent the annual migration paths taken by tracked birds; the black birds represented the position of the tracked individuals on that day

3 中国湿地对亚洲迁徙水鸟的重要性

栖息地选择模型表明，水鸟在迁徙过程中主动选择湿地作为重要停歇地，而不是草地和农田等[16]；水鸟在半干旱区选择每年固定出现的季节性湿地[17]，以上研究说明了湿地作为水鸟栖息地的重要性。

3.1 中国大河流域的湿地支持了亚洲20多国的迁徙水鸟

亚洲大型水鸟主要类群包括鸭科鸟类、鸻鹬类、鹳鹤类、鹭类和鸥类等。为掌握上述鸟类对我国湿地的利用情况，笔者团队绘制了水鸟全年利用湿地的热点图（图 3）。从图 3 可以看出，迁徙水鸟在年周期中长时间利用的湿地高度集中，并且大都分布在我国东部的泛洪平原。迁徙水鸟在我国集中利用的停歇地和越冬地分布在 6 条大河流域的湿地和江苏沿海。内陆停歇地主要在：黑龙江流域（呼伦湖流域、黑龙江中游、鸭绿江口）、辽河中下游流域、海河中下游流域、黄河湿地（青海湖、河套平原、黄河口）；内陆越冬地主要在长江中下游地区（洞庭湖、鄱阳湖、安徽湖群）和珠江河口区域。迁徙水鸟集中越冬和停歇的湿地面积分别约 50 000 km^2 和 90 000 km^2，两者之和不到我国国土总面积的 1.5%，却在非繁殖季节承载着属于亚洲 20 多个国家的水鸟。例如，在北极繁殖的水鸟，在飞越俄罗斯高寒针叶林形成的迁徙屏障之前，需要在中国东北（即黑龙江流域）长时间停歇以补充能量，而这些能量是迁徙水鸟能够成功到达北极所需的“汽油”[14]。

3.2 以长江中下游湿地为例探讨湿地质量与鸟类分布、数量和行为的关系

长江中下游湿地面积巨大，且冬夏之间的水位差异可达 10 m。这种夏荣冬枯的年度水文变化过程是长江湿地生产力和生物多样性极高的重要基础。2004 年开始的长江越冬水鸟同步调查发现，长江中下

游至少有23个具有国际重要意义的湿地，每年支持了约100万只水鸟越冬，其中包括8种全球受胁物种；长江中下游湿地已成为我国乃至亚洲最重要的水鸟越冬区域[18]。

长江中下游湿地的独特之处在于湖泊数量众多、面积巨大。每个湿地的气候和地形地貌不尽相同，在不同年份、不同水文条件下，都能够为各种鸟类提供合适的生存环境。与欧洲、北美和邻近的日本和韩国不同，在我国长江越冬的大型水鸟主要利用自然湿地生存[19]。长江中下游流域每个湖泊水鸟的数量、物种数量和功能群数量与涨落区面积正相关[20]。与小湖相比，水鸟在大湖停留时间更长，它们在湖区的自然湿地取食，而不是湖区周边的农田[21]。鄱阳湖是长江中下游最大的淡水湖，在鄱阳湖停留的大多数水鸟主要依靠自然湿地的资源生存[19]，如秋季生长的苔草（*Carex* spp.），或被埋藏在泥土中的沉水植物块茎[22]等。秋季水位规律性下降，使得鄱阳湖湖区不同高程的斑块水位深度不一样，但即使在年度和年内水文情况变化很大的情况下，总有斑块可以满足不同类群鸟类觅食的需求。沉水植物在生长季节（春季、夏季和秋季）将营养物质储存在根部，形成块茎。秋冬季节，水位逐步下降，白鹤（*Grus leucogeranus*）、小

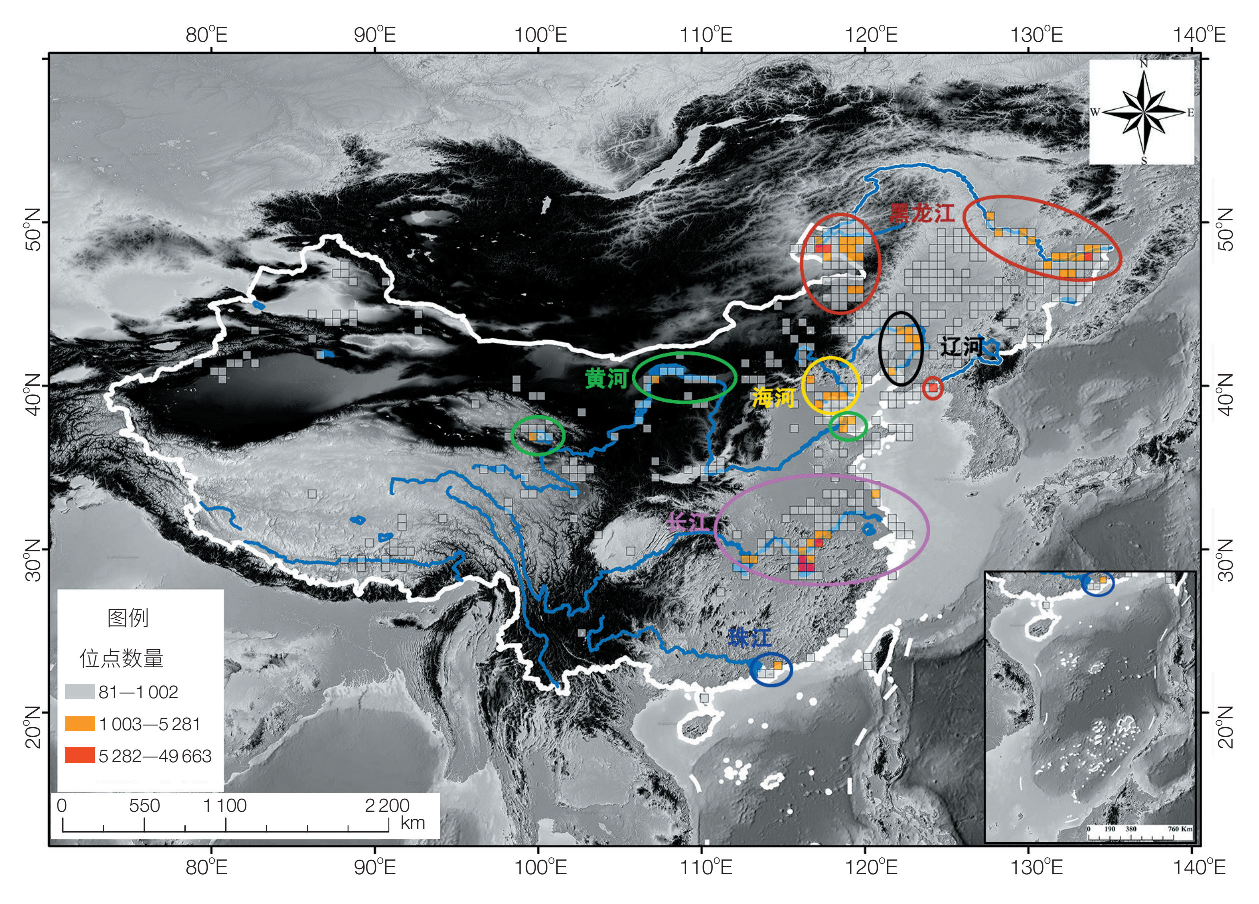


图3　2016—2020年大型迁徙水鸟在中国全年利用湿地的热点

Figure 3　Map showing highly restricted distribution of “hot-spots” of wetlands used annually by large-bodied migratory waterbirds in China of 2016-2020

每只水鸟每天1个位置数据；2016—2020年，33种2 866只水鸟的位置数据共332 144条数据；图中每个栅格（50 km×50 km）按照鸟类位置数据的数量进行色阶标注，红色至灰色代表停留总时长依次下降；其中，红色栅格面积约50 000 km^2，橙色栅格面积约90 000 km^2，两者之和不到国土总面积的1.5%

The map is based on a total of 33 2144 daily position data from 2 866 individuals of 33 species. Each occupied 50 km × 50 km grid is marked with a colour scale according to the number of positions in each, with the gradation from red to grey colours representing the decreasing degree of importance. The area within the red grid squares amounts to about ~50 000 km^2, and the orange grid area ~90 000 km^2, the sum of which equated to less than 1.5% of China’s total land area

天鹅（*Cygnus columbianus*）和鸿雁（*Anser cygnoides*）等珍稀鸟类从松软的泥土中挖出埋藏的块茎维生。同时，湿地开始涨水的时间、水淹周期和水体透明度等因素都会影响沉水植物的生长，从而改变块茎的生物量和分布[23-25]，进而影响以沉水植物块茎为食的珍稀水鸟的生存[26,27]。因此，水文节律是维持湿地鸟类多样性的关键因素，而湿地面积、高程和水文过程共同形成的涨落区面积也是其中的重要因素。

4 “大开发”对亚洲迁徙水鸟及其栖息地的影响

本文中的“大开发”特指湿地围垦和水坝建设等大型工程，这些工程会改变湿地的面积、湿地的地形地貌和涨落区的面积等，对湿地功能和迁徙水鸟生存威胁很大。1978—2008 年，中国湿地总面积下降了 33%[28]。2000—2015 年，中国东部的湿地面积仍呈下降趋势，湿地丧失主要集中在东北地区（松嫩平原、三江平原）、内蒙古和长江下游地区，农业用地开垦和城市化是我国湿地丧失的主要原因[29]。

4.1 “大开发”对迁徙水鸟越冬地的影响

长江中下游湿地是迁徙水鸟最重要的越冬地，鄱阳湖承载了长江湿地约 30%—50% 的鸟类，因此被列为亚洲最重要的湿地。围垦和修建大坝等人类活动是过去 60 年长江流域迁徙水鸟数量和多样性下降的主要原因[30]。1950 年以来，长江中下游进行了大规模围湖造田，导致总面积约 13 000 km^2 的 1 000 多个湖泊消失[31]。例如，洪湖面积从 1950 年的 760 km^2 下降到 2002 年的 344 km^2[32]，同期鸟类数量从 8 万余只下降到 1 万余只[30]。

长江中下游流域有大坝 45 700 座，可蓄水 2.2×10^9 m^3[33]。大坝越高，对下游湿地水文过程的改变可能越大。例如，三峡大坝在秋季蓄水，导致洞庭湖秋季水位提前回落，苔草过早开始生长。当白额雁（*Anser albifrons*）在每年 10 月底完成秋季迁徙到达时，过长的苔草形成它们无法取食的“绿色沙漠”，继而导致白额雁数量锐减[34]。大坝还可以推迟春季涨水时间，春季水位的缓慢上涨代替了水位的迅速上涨，长江中下游湿地植物群落从沉水植物为优势转向挺水植物[35]或浮叶植物[27]为优势，导致鸟类的广布种取代了全球受胁物种[27]，这是全球尺度上生物多样性丧失的一种方式。

目前，对长江中下游湿地最大的威胁，除了已经建立的大坝，还有正在规划的鄱阳湖水利枢纽工程和赣抚尾闾水系综合整治工程。这两项工程完成之后，会彻底改变鄱阳湖夏荣冬枯的水文变化过程，导致湿地功能下降，尤其是湿地生产力和对生物多样性的支持功能。由于水文过程被破坏、涨落区面积缩小等因素，将导致水鸟的觅食地缩小[22]，鄱阳湖可以支持的越冬水鸟数量将锐减，越冬时间将大为缩短。对于集中在鄱阳湖越冬的全球受胁物种，如白鹤、白枕鹤（*Grus vipio*）、鸿雁和东方白鹳（*Ciconia boyciana*）等来说，可能会在很短的时间灭绝。因此，“大开发”对生物多样性的后续影响是无法承受的，也会对我国牵头世界生物多样性保护工作造成不必要的负面影响。

基于 2002—2012 年长江流域越冬水鸟调查数据，对 5 种代表性水鸟种群趋势的研究结果表明：在较高等级（国家级）的保护区内，水鸟种群数量下降速率较慢；在较低等级的保护区（省级、县级）内，水鸟种群数量下降的趋势较快。这说明，我国采取的保护策略已经取得了一定的成效，但仍不能阻止水鸟种群数量下降的趋势[36]。相比森林生态系统，湿地生态系统的保护更为困难，因为湿地的水文过程受到整个集水区水资源状况的影响（如水利工程、工农业用水和气候变化等），而不仅仅受保护区内生产生活的影响。

4.2 “大开发”对迁徙水鸟停歇地的影响

迁徙水鸟集中停歇的湿地分布在我国东北地区

（黑龙江流域、辽河中下游流域）、海河中下游流域和黄河湿地，“大开发”已经导致这些重要区域鸟类数量锐减。近期资料显示，中国建造了大大小小近10万座水坝，拦蓄近9×10^{11} m^3库容[37]。例如，黄河干支流已建大型水库20余座，总库容（7×10^{10} m^3）已经远远超过了黄河的河川径流量。同时，近10年水库及库容量的增加，使整个流域地表水体迅速扩大，水体蒸发更为严重，加速了自然湿地的丧失[38]，导致迁徙水鸟的集中分布区域出现在黄河的上游段，而在通常认为湿地质量更高的黄河中下游段却没有集中分布区域。这种异常现象使迁徙水鸟在东北和长江湿地之间的停歇区域大为减少，导致单次飞行的距离更长，不利于鸟类的生存[38]（图3）。

黄海是水鸟在迁徙季节的重要停歇地，包括图3中的江苏沿海、黄河河口、海河河口、辽河河口和鸭绿江河口等区域。黄海区域（包括渤海湾）的滩涂，从1950年的5 398 km^2，减少至2000年的1 611 km^2，50年来总面积减少近70%[39]。湿地面积的锐减导致以黄海滩涂为停歇地的6种鸻鹬类种群数量下降，总数量在1993—2012年间减少了65%[40]。因湿地围垦，东亚特有物种罗纹鸭（*Anas falcata*）在我国山东莱州湾和浙江杭州湾的越冬数量锐减；目前，罗纹鸭在上述2个越冬地的数量分别锐减到10年前的1%和21%[41]。

5 关于我国牵头组织全球迁徙鸟类及其栖息地监测和保护的建议

5.1 基于全球鸟类物联网建设，将鸟类学和生态环境研究结合，提供全球鸟类及其栖息地监测的新技术、新方法和新理论

我国有丰富的生态系统类型，支持了举世瞩目的生物多样性[42]，尤其是具有吸引“百鸟来朝”的地理优势，有引领亚洲迁徙鸟类监测和研究的经验，有研制和生产鸟类遥测设备的完整产业链。在此基础上，可进一步加强现有亚洲鸟类监测网络的国际合作[43]，并牵头建设全球鸟类物联网[44]。目前，具备三轴加速度传感器中的追踪器重量在10 g左右，导致鸟类监测局限在大中型物种。建设基于低轨卫星的全球鸟类物联网，不仅可以降低追踪器的重量，还可满足在全球实时和智能化监测鸟类及其栖息地的需求，为鸟类运动模式和全球生态过程的耦合机制研究、迁徙鸟类保护关键区识别和国家航空安全提供技术支撑。此外，还可为探索*Science*提出的“125个科学问题”中的“迁徙动物如何知道它们要去哪里”这一重要问题[45,46]提供技术支撑，从而推动运动生态学的发展。

5.2 利用水鸟生存状况作为湿地质量的重要指标，确保流域综合管理的成效

水鸟和人类都依赖湿地生存[47]。目前，我国的湿地丧失和退化严重，需要制定战略性的流域综合管理规划。在我国的大河流域，应保护已有的湿地、修复退化的湿地并重建消失的湿地[48]。在恢复湿地面积的同时，注重修复湿地的功能，包括防洪、净水、补充地下水和支持生物多样性等。可参考《湿地公约》的标准，将水鸟数量达到某一阈值作为湿地修复的重要标志。在保护水鸟多样性的同时，确保生态系统的服务功能得以修复[49]。

我国是亚洲鸟类迁徙的必经之地，需要建设南—北和东—西交互的湿地网络以支持水鸟的生存。目前，我国已经在雄安新区的白洋淀开展流域综合管理，保护湿地生态空间，恢复湿地功能，并计划重新引入消失的鸟类[50]，这将为迁徙鸟类增加了重要的停歇地和繁殖地。同时，在长江中下游的龙感湖、沉湖、黄盖湖和武昌湖等已成功开展了湿地保护和修复工作，水鸟数量已有显著增加[51]。在此基础上，需要科学理解长江及其湿地的生态过程，以及支持生物多样性和高生产力的机制。进一步开展长江流域综合管理，并加强自然保护区网络建设[47]，以提高长江中下游湿地对越冬水鸟的承载力。如果我们在受威胁最严

重的湿地生态系统取得成功，将给亚洲乃至全球生物多样性保护提供宝贵的实践经验和信心，并有可能逆转世界迁徙鸟类下降的趋势。

5.3 以迁徙水鸟为纽带连接亚洲的湿地，共同制定亚洲淡水生态系统监测和保护规划

水鸟是国际公认的湿地质量的指示生物。水鸟多，则湿地质量高；湿地质量高，则会吸引更多的水鸟。而在我国，由于自然环境、国土资源、生产和生活方式等原因，我国领域内停留的水鸟主要依赖自然生态系统生存，水鸟数量可直接反映我国的湿地现状。因此，保护水鸟无小事，每个举动都是在深度保护自然环境，尤其是保护对人类有重大意义的湿地和珍贵的淡水资源。

长期以来，某些西方国家每每以环保为借口攻击我国，企图从所谓的大义名分上遏制中国这个后起工业国的发展。事实上，党的十八大以来，我国把生态文明建设作为统筹推进“五位一体”总体布局和协调推进“四个全面”战略布局的重要举措。科技工作者也应为国出力，在科学研究和环境保护上做好本职工作，并从专业角度发出科学的和正义的声音。

鸟类保护，尤其是水鸟保护状况正可能成为重要的专业证据。用一系列科学事实充分证明，在习近平生态文明思想的指导下，我国在高速发展的同时，也在坚定不移地践行着绿色发展之路，为携手创造世界生态文明的美好未来、推动构建人类命运共同体作出了重大贡献，负起了新时代的大国责任。

2021年3月1日，《中华人民共和国长江保护法》正式落地实施，而农业农村部也在同年启动了《长江十年禁渔计划》。这些都是扭转长江生态环境恶化趋势的关键之举，在国内外引起了强烈反响。党和国家保护长江水体和生态环境的决心让我们振奋；从科学角度考虑，如果能够更有效地落实长江大保护，永久停建长江流域的重大水利工程，包括鄱阳湖水利枢纽工程和赣抚尾闾水系综合整治工程，切实保护好依赖夏荣冬枯水文变化过程的长江中下游湿地生物，则对长江生态的保护措施将更加全面。功在当代，利在千秋。

在国际上，我国可基于全球动物物联网，将鸟类及其栖息地保护和区域经济、生态规划结合，协助亚洲国家制定淡水生态系统及其水鸟监测和保护规划，维护“地球生命共同体”。基于对亚洲迁徙水鸟及其所利用湿地的共同保护行动，在与《区域全面经济伙伴关系协定》②（RCEP）成员国家共享经济发展成果的同时，建议我国与RCEP成员国家商讨大河流域泛洪平原的保护规划，将发展区域经济、预防洪涝灾害、确保水资源安全和保护鸟类有机联系在一起。促使亚洲各国共同开展水鸟及其湿地的监测和保护工作，保护地球上最珍贵的淡水资源和生物多样性。这既是弘扬联合国2030年可持续发展目标（SDGs），也是对习近平生态文明思想的科学实践。

参考文献

1 Bauer S, Hoye B J. Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. Science, 2014, 344: 54-62.

2 Yong D L, Heim W, Chowdhury S, et al. The state of migratory landbirds in the East Asian Flyway: Distributions, threats, and conservation needs. Frontiers in Ecology and Evolution, 2021, doi: 10.3389/fevo.2021.613172.

3 Ramsar Convention Bureau. Wetlands Values and Functions. Gland: Ramsar Convention Bureau, 2001.

4 Mitra S, Wassmann R, Vlek P. Global Inventory of Wetlands and Their Role in the Arbon Ycle. Bonn: Center for

② 2020年11月，我国与东盟十国签署了《区域全面经济伙伴关系协定》（RCEP），RCEP的签署标志着全球最大的自由贸易区成功启航，是东亚区域经济一体化新的里程碑。RCEP协定还充分考虑了成员间经济规模和发展水平差异，专门设置了中小企业和经济技术合作等章节，以帮助发展中成员特别是最不发达成员充分共享RCEP成果。

Development Research Zentrum für Entwicklungsforschung, 2003.

5 Mi X, Feng G, Hu Y, et al. The global significance of biodiversity science in China: An overview. National Science Review, 2021, doi: 10.1093/nsr/nwab032.

6 Finlayson C M. Forty years of wetland conservation and wise use. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 2012, 22(2): 139-143.

7 Davidson N C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research, 2014, 65(10): 934-941.

8 Wetlands International. Waterbird Population Estimates, Fifth Edition, Summary Report. Wageningen: Wetlands International, 2012.

9 Kirby J S, Stattersfield A J, Butchart S H M, et al. Key conservation issues for migratory land- and waterbird species on the world's major flyways. Bird Conservation International, 2008, 18(S1): S49-S73.

10 Nathan R, Getz W M, Revilla E, et al. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. PNAS, 2008, 105(49): 19052-19059.

11 Cao L, Deng X Q, Meng F J, et al. Defining flyways, discerning population trends and assessing conservation challenges of key Far East Asian Anatidae species: An introduction. Wildfowl, 2020, (S6): 1-12.

12 冯晓娟, 米湘成, 肖治术, 等. 中国生物多样性监测与研究网络建设及进展. 中国科学院院刊, 2019, 34(12): 1389-1398.

13 Rees E C, Fox A D. Wildfowl Special Issue No.6: Flyway, Population Trends and Conversation Challenges for the Anatidae in Far East Asia. Slimbridge, Gloicestershire: Wildfowl & Wetlands Trust, 2020.

14 Wang X, Cao L, Fox A D, et al. Stochastic simulations reveal few green wave surfing populations among spring migrating herbivorous waterfowl. Nature Communications, 2019, 10: 2187-2198.

15 Wang X, Cao L, Bysykatova I, et al. The Far East taiga forest unrecognized inhospitable terrain for migrating Arctic-nesting waterbirds?. PeerJ, 2018, 6: e4353.

16 Zhang J J, Xie Y B, Li L X, et al. Assessing site-safeguard effectiveness and habitat preferences of Bar-headed Geese (*Anser indicus*) at their stopover sites within the Qinghai-Tibet Plateau using GPS/GSM telemetry. Avian Research, 2020, 11(1): 49-61.

17 Meng F J, Wang X, Batbayar N, et al. Consistent habitat preference underpins the geographically divergent autumn migration of individual Mongolian common shelducks. Current Zoology, 2020, 66(4): 355-362.

18 Barter M, Chen L, Cao L, et al. Waterbird Survey of the Middle and Lower Yangtze River Floodplain in Late January and Early February 2004. Beijing: Forestry Publishing House, 2004.

19 Yu H, Wang X, Cao L, et al. Are declining populations of wild geese in China 'prisoners' of their natural habitats? Current Biology, 2017, 27(10): R376-R377.

20 Jia Q, Wang X, Zhang Y, et al. Drivers of waterbird communities and their declines on Yangtze River floodplain lakes. Biological Conservation, 2018, 218: 240-246.

21 Meng F J, Li H B, Wang X, et al. Size matters: Wintering ducks stay longer and use fewer habitats on largest Chinese lakes. Avian Research, 2019, 10(1): 27-34.

22 Aharon-Rotman Y, McEvoy J, Zheng Z J, et al. Water level affects availability of optimal feeding habitats for threatened migratory waterbirds. Ecology and Evolution, 2017, 7(23): 10440-10450.

23 Cao L, Meng F J, Yang W, et al. Effects of length of growing season on biomass accumulation and reproductive investment of *Vallisneria natans* (Lour.) H. Hara. Fundamental and

Applied Limnology, 2011, 179(2): 115-120.

24 Fox A D, Meng F, Shen X, et al. Effects of shading on *Vallisneria natans* (Lour.) H. Hara growth. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2013, doi: 10.1051/kmae/2013062.

25 Fox A D, Meng F, Liu J, et al. Effects of the length of inundation periods on investment in tuber biomass and sexual reproduction by *Vallisneria spinulosa* S.Z. Yan Ramets. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2014, doi: 10.1051/kmae/2014014.

26 Chen Y, Zhang Y, Cao L, et al. Wintering Swan Geese maximize energy intake through substrate foraging depth when feeding on buried *Vallisneria natans* tubers. Avian Research, 2019, 10: 6-13.

27 Fox A D, Cao L, Zhang Y, et al. Declines in the tuber-feeding waterbird guild at Shengjin Lake National Nature Reserve, China — A barometer of submerged macrophyte collapse. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 2011, 21(1): 82-91.

28 Niu Z G, Zhang H Y, Wang X W, et al. Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(22): 2813-2823.

29 Xu W H, Fan X Y, Ma J G, et al. Hidden Loss of Wetlands in China. Current Biology, 2019, 29(18): 3065-3071.e2.

30 Wang W J, Fraser J D, Chen J K. Wintering waterbirds in the middle and lower Yangtze River floodplain: Changes in abundance and distribution. Bird Conservation International, 2017, 27(2): 167-186.

31 羊向东, 董旭辉, 陈旭, 等. 长江经济带湖泊环境演变与保护、治理建议. 中国科学院院刊, 2020, 35(8): 977-987.

32 尹发能. 洪湖自然环境演变研究. 人民长江, 2008, 39(5): 19-22.

33 杨桂山, 马超德, 常思勇. 长江保护与发展报告2009. 武汉: 长江出版社, 2009.

34 Zhao M J, Cong P H, Barter M, et al. The changing abundance and distribution of Greater White-fronted Geese *Anser albifrons* in the Yangtze River floodplain: Impacts of recent hydrological changes. Bird Conservation International, 2012, 22(2): 135-143.

35 Jia Q, Cao L, Yésou H, et al. Combating aggressive macrophyte encroachment on a typical Yangtze River lake: Lessons from a long-term remote sensing study of vegetation. Aquatic Ecology, 2017, 51(1): 177-189.

36 Zhang Y, Jia Q, Prins H H T, et al. Effect of conservation efforts and ecological variables on waterbird population sizes in wetlands of the Yangtze River. Scientific Reports, 2015, 5: 17136.

37 星球研究所. 10万座大坝的诞生！. (2021-01-13)[2021-03-01]. https://www.sohu.com/a/444166990_474000.

38 马柱国, 符淙斌, 周天军, 等. 黄河流域气候与水文变化的现状及思考. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 52-60.

39 Murray N J, Clemens R S, Phinn S R, et al. Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(5): 267-272.

40 Studds C E, Kendall B E, Murray N J, et al. Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. Nature Communications, 2017, 8: 14895-14991.

41 Zhang B X, Wang X, Meng F J, et al. Contrasting changes in abundance of Falcated Duck *Mareca falcata* wintering in the Yangtze River floodplain and on the eastern coast of China. Wildfowl, 2020, (S6): 267-292.

42 Liu J G, Ouyang Z Y, Pimm S L, et al. Protecting China's biodiversity. Science, 2003, 300: 1240-1241.

43 Cao L, Meng F J, Zhang J J, et al. Moving forward: How best to use the results of waterbird monitoring and telemetry studies to safeguard the future of Far East Asian Anatidae species. Wildfowl, 2020, (S6): 293-319.

44 Curry A. The Internet of animals that could help to save vanishing wildlife. Nature, 2018, 562: 322-326.

45 Shanghai Jiao Tong University, Science/AAAS. 125 questions: Exploration and discovery. (2021-04-08)[2021-04-10]. https://www.sciencemag.org/collections/125-questions-exploration-and-discovery.

46 Gu Z R, Pan S K, Lin Z Z, et al. Climate-driven flyway changes and memory-based long-distance migration. Nature, 2021, 591: 259-264.

47 Cao L, Fox A D. Birds and people both depend on China's wetlands. Nature, 2009, 460: 173-173.

48 Cao L, Wang X, Fox A D. Letter to the editor regarding: Sponge Wetlands: Restoring functional flood relief to China's great rivers. Wetlands Ecology and Management, 2018, 26(5): 729-731.

49 Xu W H, Xiao Y, Zhang J J, et al. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China. PNAS, 2017, 114(7): 1601-1606.

50 史自强. 让"华北明珠"重绽光芒——《白洋淀生态环境治理和保护规划》解读. (2019-01-12)[2021-03-01]. http://society.people.com.cn/gb/n1/2019/0112/c1008-30523938.html.

51 Yan M, Yi K P, Zhang J J, et al. Flyway connectivity and population status of the Greylag Goose *Anser anser* in East Asia. Wildfowl, 2020, (S6): 157-180.

Understanding Effects of Large-scale Development on Bird Migration and Habitats Through Cutting Edge Avian Monitoring Techniques

CAO Lei[1,2*] MENG Fanjuan[1] ZHAO Qingshan[1]

(1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The linkage created by migratory birds in time and space and between different global ecosystems, local biodiversity and diverse human culture epitomises the concept of "All Life on Earth". The Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat, referred to as the Ramsar Convention below, uses bird abundance as a means to identify the relative significance of Wetlands of International Importance, tightly linking the most threatened wetlands on our planet with waterbird conservation. Wetland loss and degradation in Asia has caused a dramatic decrease in waterbird abundance and diversity, underlining the critical need for monitoring and conserving those natural systems that remain. Through close cooperation with 10 other countries, the Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences (CAS) has established the largest migratory bird movement ecological database in Asia, with independent intellectual property rights. It contains basic data on the migration strategies and flyways of large-bodied birds in Asia. Analyses of these data have shown that migratory large-bodied birds from over 20 Asian countries have all used wetland habitats in China, and the area of intensive use accounts for less than 1.5% of China's total land area, mainly concentrated in the floodplains of just six river systems. Furthermore, we have identified critical relationships between wetland area, inundation area, hydrological process and bird abundance, diversity and behaviour. Large-scale development of wetland and water resources has caused loss and degradation of waterbird habitat, resulting in dramatic decreases in waterbird numbers. From a global

*Corresponding author

perspective, the conservation of migratory birds and their habitats represents a common challenge for all human beings. In recent years, China has pioneered the successful conservation of its most threatened typical wetlands, which provides valuable practical experience and confidence for global biodiversity conservation. Finally, we make recommendations as to how China can take the lead in organizing global migratory bird monitoring and conservation.

Keywords waterbird, migration, wetland, conservation, satellite tracking, integrated catchment management

曹 垒 中国科学院生态环境研究中心研究员，中国科学院大学教授，博士生导师。长期致力于鸟类多样性监测、水鸟和湿地生态学、种群生态学、运动生态学研究。近年来，先后主持国家自然科学基金项目和国际合作研究项目等20余项。在*Nature*、*Nature Communications*和*Current Biology*等国际重要期刊发表学术论文和著作100余篇（部）。2014年应邀在"第26届国际鸟类学大会"上做大会邀请报告，2019年应邀在英国鸟类年学会上做阿尔弗雷德·牛顿荣誉讲席报告。 E-mail: leicao@rcees.ac.cn

CAO Lei Professor and Ph.D. Supervisor at the Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences (CAS) and University of Chinese Academy of Sciences. Professor Cao has long been focusing her research on bird diversity monitoring, waterbird and wetland ecology, population ecology, and movement ecology. She is currently presiding over 20 research projects sponsored by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) and other international cooperation research projects. Professor Cao has published over 100 academic articles in international journals including *Nature*, *Nature Communications*, and *Current Biology*. She was invited to give a plenary report at the 26th International Ornithological Congress (Tokyo, 2014), and the Alfred Newton Lecture at the British Ornithologists' Union 2019 Annual Conference (Coventry, 2019).
E-mail: leicao@rcees.ac.cn

■责任编辑：张帆